

補助事業番号 28-152  
補助事業名 平成28年度 多孔質体内での気泡微細化沸騰を用いた大伝熱面冷却手法の開発 補助事業  
補助事業者名 電気通信大学機械知能システム学専攻 教授 大川 富雄

## 1 研究の概要

本研究では、電気自動車用インバーターや次世代CPU等の高発熱密度機器への適用を見据えて、限られた放熱面から大量の熱を除去でき、安定に冷却でき、加えて、大伝熱面の冷却に適用可能な冷却技術を開発することを目的とする。高熱流束除熱を達成するため、冷却手法としては、冷却液の相変化を伴う「沸騰冷却方式」を検討対象とする。ここで、既存の沸騰冷却方式で高熱流束除熱を行う場合、気泡の生成・凝縮に伴う圧力変動に起因して不安定流動が生じやすい、流路の下流に行くにつれて温度境界層が発達するため、大伝熱面では除熱性能が低下する、等の課題がある。以上の課題を解決するため、本研究では、冷却材流路として、「多孔質金属を充填した小口径流路（ポーラスマイクロチャンネル、以下ではPMCと略記）」を採用する。PMC内における沸騰熱伝達では、流体混合が促進により温度境界層の発達が抑制されるため、大気泡が生成されにくく、この結果、流動不安定や伝熱面サイズの増加に伴う除熱性能の低下を緩和できる考えられる。このため、本研究では、伝熱面サイズ、冷却材流量、冷却材温度を変更しながら伝熱実験と気泡挙動の可視化観察を実施し、PMC内沸騰熱伝達による冷却性能を系統的に検討した。この結果、PMCを用いることで、最大除熱可能量を増大できるとともに、圧力変動に起因する流動不安定を緩和できることを示した。

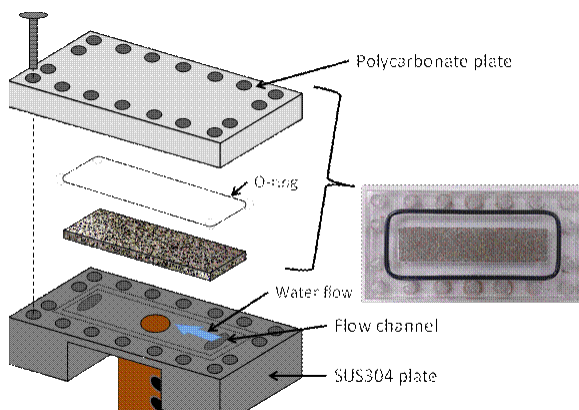
## 2 研究の目的と背景

電気自動車用インバーターや次世代CPU等の電子機器では、消費電力の増大と小型化により発熱密度が増大傾向にあるため、高性能の冷却技術の開発が求められている。このため、空冷や液冷方式に代わって、沸騰熱伝達により除熱を行う方式の採用が考えられる。しかしながら、従来の沸騰冷却方式で高熱流束除熱を行う場合、圧力変動に起因して流動が不安定になりやすい、伝熱面サイズが大きい場合に冷却性能が低下しやすい等の課題があった。

ここで、PMC内では流体混合が促進されるため、その内部で核沸騰が生じる場合、大気泡は形成されにくくなると考えられる。この結果、高熱流束が印加された場合でも、流動不安定が生じにくく、また、大伝熱面の下流部でも、温度境界層の発達が抑制されると期待できる。このため、本研究では、PMC内沸騰熱伝達を利用することで、高熱流束かつ安定な大伝熱面冷却手法を開発することを目的とした。

### 3 研究内容 ([http://www.eel.mi.uec.ac.jp/research\\_photo/JKA.htm](http://www.eel.mi.uec.ac.jp/research_photo/JKA.htm))

- ① 小口径流路内における沸騰熱伝達を用いて高発熱密度機器の冷却を行う場合、流路を覆いつくすような大気泡が間欠的に生成されて、大気泡下部の薄液膜が蒸発により消失することで、除熱限界に至ることを示した。また、大気泡の生成・消滅に伴って、顕著な圧力変動や騒音の発生が生じるため、これらも除熱システムを運用するにあたっての大きな課題となることを示した。
- ② 流路内に多孔質体を配置すると、高温流体と低温流体の混合が促進されるため、大気泡の形成が抑制されることを示した。この結果、除熱限界が向上するばかりでなく、圧力変動や騒音発生も大きく抑制された。
- ③ PMCによる除熱特性の向上は、冷却材の混合促進による大気泡の抑制にある。この知見に基づいて、PMCにおける主に冷却材の種類、流量、入口温度について、適切な設定方法を提案した。



試験部の構成



通常流路(上)とPMC(下)での気泡生成状況

### 4 本研究が実社会にどう活かされるかー展望

電気自動車用インバーターや高発熱密度CPUでは、設置スペースを節約するため、小口径の冷却材流路を用いた冷却技術の適用が望まれる。この際、必要量の熱を除去すると同時に、顕著な圧力変動や騒音の発生が生じないことが求められる。本研究で検討を実施したPMC内沸騰熱伝達を利用した冷却手法は、高熱流束熱除去、低圧力変動、低騒音などの好ましい特性を有しており、前記の高発熱密度工業機器の冷却手段として採用されることが期待される。

### 5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

本研究では、高発熱密度電子機器への適用を見据えて、核沸騰熱伝達に関する基礎実験を実施した。このため、本研究を通して、担当学生の特に関心分野における教育に大きく役立った。また、実機への適用を想定して研究を実施したため、熱工学分野で主な興味の対象となる最大除熱可能量その他、流動安定性や騒音発生についても検討した。このため、工業的

応用を見据えて、現象を多角的な観点で考察する点で、有効な研究課題であった。

#### 6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 平田涼、ポーラスマイクロチャンネル内における熱流束と騒音低減及び圧力変動の関係性、2016年度電気通信大学卒業論文 (2017. 2).
- (2) 熊取弘祐、ポーラスマイクロチャンネル内沸騰熱伝達に及ぼす伝熱面サイズの影響、2017年度電気通信大学卒業論文 (2018. 2).
- (3) 大箸淳記、平田涼、榎木光治、大川富雄、ポーラスマイクロチャンネル内沸騰流における圧力変動及び発生音の計測、日本機械学会熱工学コンファレンス、I112 (2016. 10).
- (4) 平田涼、大箸淳記、榎木光治、大川富雄、ポーラスマイクロチャンネル内における熱流束と騒音低減及び圧力変動の関係性、日本機械学会関東学生会第56回学生員研究発表講演会、No. 410 (2017. 3).
- (5) 大川富雄、大箸淳記、平田涼、榎木光治、ポーラスマイクロチャンネルを用いた高熱流束伝熱面の安定冷却、自動車技術会(SAE)2017年春季大会、No. 439 (2017. 5).
- (6) 大箸淳記、SANTIAGO Edgar、榎木光治、大川富雄、ポーラスマイクロチャンネル内沸騰流における流動安定性、混相流シンポジウム2017、F311 (2017. 8).
- (7) 熊取弘祐、大箸淳記、榎木光治、大川富雄、ポーラスマイクロチャンネル内沸騰熱伝達に及ぼす伝熱面サイズの影響、日本機械学会関東学生会第57回学生員卒業研究発表講演会、No. 315 (2018. 3).
- (8) Tomio Okawa, Junki Ohashi, Ryo Hirata, Koji Enoki, Stable, calm, and high-heat-flux heat removal using a porous-microchannel, Proceedings of 4th International Workshop on Heat Transfer (IWHT), TFEC-IWHT2017-18154 (2017).
- (9) 多孔質金属にかかわる企業・団体の取組同行～国立大学法人電気通信大学、Yano E plus, Vol. 104, pp. 59-61 (2016. 11)

#### 7 補助事業に係る成果物

- (1) 補助事業により作成したもの  
なし
- (2) (1) 以外で当事業において作成したもの  
なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名： 電気通信大学情報理工学研究科

住 所： 〒182-8585

東京都調布市調布ヶ丘1-8-1

申 請 者： 教授 大川 富雄（オオカワ トミオ）

担 当 部 署： 機械知能システム学専攻

E - m a i l： okawa.tomio@uec.ac.jp

U R L： <http://www.eel.mi.uec.ac.jp/>